

Beschreibung

Optische Empfängerschaltung

5 Technisches Gebiet:

Die Erfindung bezieht sich auf eine optische Empfängerschaltung mit einer optischen Empfangseinrichtung und einer nachgeschalteten Verstärkereinrichtung. Auf die Empfangseinrichtung (z. B. Fotodiode) einfallendes Licht - beispielsweise Licht aus einem optischen Lichtwellenleiter eines optischen Datenübertragungssystems - wird von der Empfangseinrichtung unter Bildung eines elektrischen Signals (z. B. Fotostrom) detektiert; anschließend wird das elektrische Signal von der nachgeschalteten Verstärkereinrichtung verstärkt.

Optische Empfängerschaltungen dieser Art benötigen eine sehr hohe Empfindlichkeit, da die zu empfangenden optischen Lichtsignale und damit die von der Empfangseinrichtung gebildeten elektrischen Signale in der Regel sehr klein sind. Aus diesem Grunde ist auch die Störempfindlichkeit sehr hoch; dies bedeutet, dass hochfrequente Störungen - beispielsweise auf der Versorgungsspannung der optischen Empfängerschaltung und/oder eingestrahlte elektromagnetische Störungen (EMI: Electromagnetic Interference) - die Funktionsfähigkeit der optischen Empfängerschaltung in erheblicher Weise beeinträchtigen können.

Um Störungen von Außen zu vermeiden, wird bei den vorbekannten optischen Empfängerschaltungen ein erheblicher Aufwand an elektromagnetischer Schirmung betrieben. Insbesondere werden erhebliche Anstrengungen unternommen, hochfrequente Störungen, beispielsweise auf der Versorgungsspannung, zu unterdrücken.

35 Es ist offensichtlich, dass diese Schirmungsmaßnahmen zu erheblichen Zusatzkosten bei der Herstellung der vorbekannt-

Empfängerschaltungen führen.

Eine vorbekannte optische Empfängerschaltung mit einer Empfangseinrichtung und einem nachgeschalteten Verstärker ist beispielsweise in dem Artikel „High Gain Transimpedance Amplifier in InP-Based HBT Technology for the Receiver in 40 Gb/s Optical-Fiber TDM Links“ (Jens Müllrich, Herbert Thurner, Ernst Müllner, Joseph F. Jensen, Senior Member, IEEE, William E. Stanchina, Member, IEEE, M. Kardos, and Hans-Martin Rein, Senior Member, IEEE - IEEE Journal of Solid State Circuits, vol. 35, No. 9, September 2000, Seiten 1260 bis 1265) beschrieben. Bei dieser Empfängerschaltung ist eingangsseitig ein differenziell betriebener Transimpedanzverstärker - also ein Differenzverstärker - vorhanden, der mit einem Eingang an eine Photodiode als Empfangseinrichtung angeschlossen ist. Der andere Eingang des differenziell betriebenen Transimpedanzverstärkers ist mit einem Gleichstromverstärker verbunden, der einen „Korrekturstrom“ zur Offset-Korrektur des Fotostromes der Photodiode in den Differenzverstärker einspeist. Die Größe dieses eingespeisten „Korrekturstromes“ beträgt die Hälfte des Stromhubs der Photodiode im Betrieb.

Zusammenfassung der Erfindung:

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Empfängerschaltung anzugeben, die gegenüber externen Störsignalen störsignalfrei ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine optische Empfängerschaltung mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben.

Danach ist erfindungsgemäß eine optische Empfängerschaltung mit einer optischen Empfangseinrichtung und einem nachgeschalteten Differenzverstärker vorgesehen. Die Empfangseinrichtung ist dabei an einen der zwei Eingänge des

Differenzverstärkers angeschlossen. An den anderen der beide Eingänge des Differenzverstärkers ist ein das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung im „beleuchtungsfreien Fall“ nachbildendes elektrisches Element angeschlossen. Unte
5 einem „beleuchtungsfreien Fall“ wird dabei verstanden, dass sich das elektrische Element elektrisch weitestgehend genaus verhält wie die Empfangseinrichtung, wenn kein zu detektierendes Licht auf die Empfangseinrichtung auftrifft.

10 Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen optischen Empfängerschaltung ist darin zu sehen, dass diese besonders störunempfindlich ist. Dies wird bei der erfindungsgemäßen Empfängerschaltung durch das „volldifferenzielle“ Design der Schaltung bzw. die quasi symmetrische eingangsseitige
15 Beschaltung des Differenzverstärkers erreicht. Das volldifferenzielle Design beruht dabei auf dem erfindungsgemäßen elektrischen Element, das das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung im beleuchtungsfreien Fall nachbildet. Aufgrund des elektrischen Elements ist der
20 Differenzverstärker symmetrisch beschaltet, so dass hochfrequente Störungen effektiv unterdrückt werden. Hochfrequente Störungen werden nämlich aufgrund der symmetrischen eingangsseitigen Beschaltung des Differenzverstärkers an beiden Eingängen des
25 Differenzverstärkers gleichzeitig auftreten, so dass die Störungen dank der bei Differenzverstärkern stets hohen Gleichtaktunterdrückung weitestgehend unterdrückt werden.

30 Die erfindungsgemäße optische Empfängerschaltung unterscheidet sich damit wesentlich von den eingangs erwähnten vorbekannten Empfängerschaltungen, die zwar eingangsseitig einen Differenzverstärker aufweisen, jedoch eingangsseitig asymmetrisch beschaltet sind. Potentielle Störelemente, wie beispielsweise ein Bonddraht der
35 Empfangseinrichtung, die Kapazität der Empfangseinrichtung sowie weitere kapazitive Aufbauelemente - beispielsweise Kapazitäten und Induktivitäten im Bereich der

Empfangseinrichtung - treten beim Stand der Technik damit ausschließlich an einem Anschluss des Differenzverstärkers auf und werden somit unmittelbar verstärkt. Die Störsignale gelangen bei der vorbekannten „asymmetrischen“ Beschaltung des Differenzverstärkers somit zu der „empfindlichsten Stelle“ der optischen Empfängerschaltung und werden unmittelbar verstärkt. Im Unterschied dazu werden bei der erfindungsgemäßen Empfängerschaltung die Störsignale „quasi“ herausgefiltert bzw. wirkungsvoll unterdrückt, und zwar aufgrund der symmetrischen Beschaltung des Differenzverstärkers mit Hilfe des das Verhalten der Empfangseinrichtung im unbeleuchteten Fall nachbildenden Elements und aufgrund der Gleichtaktunterdrückung des Differenzverstärkers.

Zusammengefasst lässt sich damit feststellen, dass bei der erfindungsgemäßen optischen Empfängerschaltung ein besonders hohes Maß an Störunempfindlichkeit durch die symmetrische eingangsseitige Beschaltung des Differenzverstärkers der Empfängerschaltung erreicht wird.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen optischen Empfängerschaltung besteht darin, dass diese kostengünstiger herstellbar als die vorbekannten Empfängerschaltungen, da auf aufwändige Schirmungsmaßnahmen zum Unterdrücken von Störeinflüssen aufgrund der „inneren“ Störunterdrückung durch den Differenzverstärker weitgehend verzichtet werden kann.

Um zu erreichen, dass die optische Empfängerschaltung eine besonders hohe Verstärkung erreicht, ist gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Empfängerschaltung vorgesehen, dass die Empfangseinrichtung und das elektrische Element jeweils mit einem Vorverstärker an den Differenzverstärker angeschlossen werden. Eventuell durch die Vorverstärker hervorgerufene Störungen werden aufgrund der Gleichtaktunterdrückung des Differenzverstärkers - wie die

übrigen Störsignale - unterdrückt und somit wirkungslos. Es wird somit mit den Vorverstärkern eine hohe Verstärkung erreicht, ohne dass Störungen verstärkt werden.

5 Vorzugsweise handelt es sich bei den beiden Vorverstärkern u identische Vorverstärker, um eine maximale Störunterdrückung der eventuell von den Vorverstärkern selbst erzeugten oder der in den Vorverstärker eingekoppelten Störsignale zu erreichen.

10 Bei dem das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung im beleuchtungsfreien Fall nachbildenden elektrischen Element kann es sich beispielsweise um eine mit der Empfangseinrichtung („Nutz“-Empfangseinrichtung) der

15 Empfängerschaltung identische Empfangseinrichtung („Dummy- Empfangseinrichtung“) handeln, die derart abgedunkelt ist, dass kein Licht darauf fallen kann. Die „Nutz“- Empfangseinrichtung und die „Dummy“-Empfangseinrichtung sind vorzugsweise auf einem Halbleiterchip gemeinsam monolithisch 20 integriert, um sicher zu stellen, dass beide Empfangseinrichtungen ein annähernd gleiches elektrisches Verhalten aufweisen.

25 Alternativ kann das das elektrische Verhalten der Nutz- Empfangseinrichtung im beleuchtungsfreien Fall nachbildende elektrische Element auch durch eine Kapazität gebildet sein die das kapazitive Verhalten der Nutz-Empfangseinrichtung nachbildet.

30 Als Vorverstärker werden vorzugsweise Transimpedanzverstärker eingesetzt.

35 Darüber hinaus wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die optische Empfängerschaltung eine integrierte Regelschaltung aufweist, mit der eine Regelung der Rückkoppelwiderstände der beiden Transimpedanzverstärker möglich ist. Durch Umschalten der Widerstandsgroße der Rückkoppelwiderstände lässt sich d

Verstärkung der Transimpedanzverstärker und damit mittelbar auch die Bandbreite der Empfängerschaltung benutzerseitig von außen einstellen.

5 Um einen möglichst symmetrischen Aufbau der optischen Empfängerschaltung zu gewährleisten, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die integrierte Regelschaltung jeweils an die Rückkoppelwiderstände beider Transimpedanzverstärker angeschlossen ist.

10 Für einen symmetrischen Betrieb der optischen Empfängerschaltung und damit für eine maximale Störunterdrückung ist es vorteilhaft, wenn die Empfangseinrichtung und das nachbildende elektrische Element 15 jeweils an dieselbe Versorgungsspannung angeschlossen sind. Vorzugsweise wird an die Versorgungsspannung ein Tiefpass angeschlossen, der hochfrequente Störungen aus der Versorgungsspannung herausfiltert.

20 Bei den Empfangseinrichtungen handelt es sich vorzugsweise u. Fotodioden.

Die Empfängerschaltung ist vorzugsweise in einem TO-46-Gehäuse oder in einem entsprechenden Kunststoffgehäuse 25 (z.B. TSSOP10 oder VQFN20) verpackt.

Ausführungsbeispiel:

Zur Erläuterung der Erfindung zeigt eine Figur ein 30 Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße optische Empfängerschaltung.

In der Figur erkennt man eine Photodiode 10 als Empfangseinrichtung („Nutz“-Empfangseinrichtung), die über 35 einen Transimpedanzverstärker 20 an einen Anschluss E30a eines Differenzverstärkers 30 angeschlossen ist. Der andere Eingang E30b des Differenzverstärkers 30 ist über einen

weiteren als Transimpedanzverstärker ausgeführten Vorverstärker 40 mit einer „Dummy“-Fotodiode 50 als „Dummy“-Empfangseinrichtung verbunden, die das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung 10 im beleuchtungsfreien Fall 5 elektrisch nachbildet.

Der Transimpedanzverstärker 20 ist durch einen Spannungsverstärker 60, beispielsweise einen Operationsverstärker, gebildet, der mit einem 10 Rückkoppelwiderstand RF1 beschaltet ist. In entsprechender Weise ist der weitere Transimpedanzverstärker 40 durch einen Spannungsverstärker, beispielsweise einen mit dem Operationsverstärker 60 identischen Operationsverstärker 70, gebildet, der mit einem weiteren Rückkoppelwiderstand RF2 15 (RF1 = RF2) beschaltet ist.

Der Differenzverstärker 30 ist ausgangsseitig mit einem zweiten Differenzverstärker 80 verbunden, der das Ausgangssignal des ersten Differenzverstärkers 30 weiter 20 verstärkt und an seinem Ausgang ein dem optischen Signal der Fotodiode 10 entsprechendes Ausgangssignal S_{res}' bzw. das daz invertierte Signal $-S_{res}'$ erzeugt.

Ausgangsseitig ist der Differenzverstärker 80 mit einer AGC 25 (Amplitude Gain Control) Regelschaltung 90 verbunden, die ausgangsseitig mit den beiden Rückkoppelwiderständen RF1 und RF2 in Verbindung steht. Die Regelschaltung 90 stellt den Widerstandswert RF1 und RF2 in Abhängigkeit von einem an einem Steuereingang S90 der Regelschaltung 90 anliegenden 30 Steuersignal S3 ein. Über diesen Steuereingang S90 kann die Verstärkung der beiden Transimpedanzverstärker 20 und 40 benutzerseitig von außen eingestellt werden. Da die erreichbare Verstärkung V und die Bandbreite B der Schaltung näherungsweise miteinander in Beziehung stehen ($V \cdot B = 35$ constant), kann über ein Verändern der Verstärkung auch die erreichbare Bandbreite benutzerseitig eingestellt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Regelschaltung 90 auch

zusätzliche Kapazitäten (oder Induktivitäten) parallel oder in Reihe zu den beiden Rückkoppelwiderständen RF1 und RF2 schalten, um das Rückkoppelverhalten zu modifizieren und um beispielsweise das Auftreten von elektrischen Schwingungen zu vermeiden. Darüber hinaus ist die Regelschaltung 90 mit den Ausgangssignalen $S_{res'}$ und $-S_{res'}$ des zweiten Verstärkers 80 beaufschlagt, so dass die Regelschaltung beispielsweise ein Übersteuern des Verstärkers verhindern kann.

10 Darüber hinaus ist die optische Empfängerschaltung mit einer DCC-Schaltung 100 (DCC: Duty Cycle Control) ausgestattet, die eine Regelung der optischen Empfängerschaltung bewirkt. Die DCC-Schaltung 100 bzw. die durch sie gebildete Duty-Cycle-Regelung (Offset Regelung) regelt die Abtast-Schwelle für die nachfolgenden Differenzverstärker, so dass das Signal beim 50% Wert der Amplitude abgetastet wird und sich damit keine Signalpulsverzerrungen (duty cycle) ergeben. Dies kann durch Einspeisen eines Stromes in jeweils einen der Vorverstärker (Transimpedanzverstärker) erfolgen oder auch durch Einspeise einer Spannung an den Eingängen der Differenzverstärker direkt.

Wie sich der Figur darüber hinaus entnehmen lässt, sind die beiden Fotodioden 10 und 50 beide jeweils an eine Versorgungsspannung VCC1 angeschlossen, die mit einem Tiefpass 110 - bestehend aus einer Kapazität C_{PD} und einem Widerstand R_{PD} - verbunden ist.

Die optische Empfängerschaltung wird wie folgt betrieben:

30 Im Falle einer Lichteinstrahlung auf die Fotodiode 10 wird ein elektrisches Signal S1 in den Transimpedanzverstärker 21 eingespeist und von diesem verstärkt. Am Ausgang des Transimpedanzverstärkers 20 wird somit das verstärkte Signal S1' gebildet, das zu dem Eingang E30a des Differenzverstärkers 30 gelangt.

Störsignale S_{t1} , die in die Fotodiode 10 bzw. in die Zuleitungen der Fotodiode 10 eingekoppelt bzw. eingespeist werden, werden von dem Transimpedanzverstärker 20 ebenfalls verstärkt und als verstärkte Störsignale S_{t1}' zum 5 Differenzverstärker 30 übertragen.

Die Dummy-Fotodiode 50 ist - wie dies der senkrechte Balken in der Figur andeutet - derart abgedunkelt, dass kein Licht auf die Dummy-Fotodiode 50 fallen kann. Die Fotodiode 50 ist 10 somit optisch inaktiv und hat lediglich die Funktion eines „Dummys“.

Trotz allem können in die „Dummy“-Fotodiode 50 Störsignale S_{t2} eingekoppelt werden, beispielsweise über die Zuleitungen 15 der Fotodiode 50. Diese Störsignale S_{t2} werden von dem weiteren Transimpedanzverstärker 40 verstärkt und gelangen als verstärkte Störsignale S_{t2}' zu dem weiteren Eingang E30b des Differenzverstärkers 30. Am Ausgang des Differenzverstärkers 30 werden somit Ausgangssignale S_{res} - 20 und die dazu invertierten Signale $-S_{res}$ - gebildet gemäß

$$S_{res} = S_{t1} + S_{t1}' - (S_{t2} + S_{t2}').$$

Da die „Dummy“-Fotodiode 50 abgedunkelt ist und damit kein 25 eigenes Nutzsignal S_2 erzeugen kann, gilt:

$$S_2 = 0$$

Darüber hinaus ist anzunehmen, dass Störsignale, die in die 30 Fotodiode 10 eingekoppelt werden, gleichzeitig auch in die „Dummy“-Fotodiode 50 eingekoppelt werden, so dass folgende Annahme gerechtfertigt ist:

$$S_{t1} = S_{t2}.$$

35

Somit ergibt sich am Ausgang des Differenzverstärkers 30 insgesamt ein Ausgangssignal gemäß

$S_{res} = S_1,$

weil nämlich $S_1=S_2$ und $S_2=0$.

5

Zusammengefasst lässt sich damit feststellen, dass durch die Verwendung zweier gleichartiger Eingangszweige - gebildet durch die Fotodiode 10 und durch die „Dummy“-Fotodiode 50 - die Empfängerschaltung sehr störunanfällig ist, da die 10 eingangsseitig von den beiden Fotodioden 10 und 50 „mitgelieferten“ Störsignale S_1 und S_2 aufgrund der Gleichtaktunterdrückung des Differenzverstärkers 30 weitgehend eliminiert werden.

15 Der Tiefpass 110 an der Stromversorgungsspannung VCC1 dient im Übrigen dazu, hochfrequente Störungen der Spannungsversorgung VCC1 herauszufiltern, so dass diese den Differenzverstärker 30 gar nicht erst erreichen können.

20 In der Figur sind darüber hinaus Anschlusspads 200 und 210 erkennbar, die mittels eines Bonddrahtes 220 miteinander verbunden werden können. Durch einen solchen Bonddraht 220 lässt sich die Kapazität C_{sym} an den weiteren Transimpedanzverstärker 40 anschließen. Die Kapazität C_{sym} kann dabei die 25 „Dummy“-Fotodiode 50 ersetzen, wenn eine solche Fotodiode 50 nicht zur Verfügung steht. Die Kapazität C_{sym} ist dann vorzugsweise derart bemessen, dass sie im Wesentlichen der Kapazität der „fehlenden“ Dummy-Fotodiode 50 bzw. der Kapazität der Nutzdiode 10 entspricht.

30

Bezugszeichenliste

10	Fotodiode
5 20	Transimpedanzverstärker
30	Differenzverstärker
40	Weitere Transimpedanzverstärker
50	„Dummy“-Fotodiode
60	Operationsverstärker
10 70	Operationsverstärker
80	Zweiter Differenzverstärker
90	AGC-Schaltung
100	DCC-Schaltung
110	Tiefpass
15 200, 210	Pad-Anschlüsse
220	Bonddraht
RF1, RF2	Steuerbare Rückkoppelwiderstände

20

25

Patentansprüche

1. Optische Empfängerschaltung

- mit einem Differenzverstärker (30),
- mit einer optischen Empfangseinrichtung (10), die an 5 einen der zwei Eingänge (E30a) des Differenzverstärker: (30) angeschlossen ist, und
- mit einem das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung (10) im beleuchtungsfreien Fall 10 nachbildenden elektrischen Element (50), das an den anderen der beiden Eingänge (E30b) des Differenzverstärkers (30) angeschlossen ist.

2. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 1 dadurch

15 gekennzeichnet, dass die Empfangseinrichtung (10) und das elektrische Element (50) jeweils über einen Vorverstärker (20, 40) an den Differenzverstärker (30) angeschlossen sind.

3. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden

20 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Element (50) durch eine weitere, abgedunkelte Empfangseinrichtung gebildet ist.

4. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 3, dadurch

25 gekennzeichnet, dass die Empfangseinrichtung (10) und die weitere Empfangseinrichtung (50) auf einem Chip monolithisch integriert sind.

5. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden

30 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Vorverstärker (20, 40) identisch sind.

6. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 5, dadurch

gekennzeichnet, dass die Vorverstärker (20, 40)

35 Transimpedanzverstärker sind.

7. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine integrierte Regelschaltung (90) vorhanden ist, mit der die Größe des Rückkoppelwiderstandes der Transimpedanzverstärker 5 (20, 40) benutzerseitig einstellbar ist.
8. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die integrierte Regelschaltung symmetrisch an die Rückkoppelwiderstände der beiden 10 Transimpedanzverstärker (20, 40) angeschlossen ist.
9. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Empfangseinrichtungen (10, 50) an eine gemeinsame 15 Versorgungsspannung (VCC1) angeschlossen sind.
10. Optische Empfängerschaltung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass an die Versorgungsspannung (VCC1) ein Tiefpass angeschlossen ist. 20
11. Optische Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Empfangseinrichtungen (10, 50) Fotodioden sind.
12. Empfängerschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfängerschaltung in einem TO-46-Gehäuse, einem TSSOP10-Gehäuse oder einem VQFN20-Gehäuse verpakt ist. 25
13. Empfängerschaltung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Steueranschluss (S30) durch ein Anschlusspin des Gehäuses gebildet ist. 30

Zusammenfassung

Optische Empfängerschaltung

5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Empfängerschaltung anzugeben, die gegenüber externen Störsignalen störunempfindlich ist.

10 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine optische Empfängerschaltung mit einem Differenzverstärker (30), mit einer optischen Empfangseinrichtung (10), die an einen der zwei Eingänge (E30a) des Differenzverstärkers (30) angeschlossen ist, und mit einem das elektrische Verhalten der Empfangseinrichtung (10) im beleuchtungsfreien Fall 15 nachbildenden elektrischen Element (50), das an den anderen der beiden Eingänge (E30b) des Differenzverstärkers (30) angeschlossen ist.

20 Figur